

STN Karlsruhe

L3 ANSWER 1 OF 1 WPIDS COPYRIGHT 2005 THE THOMSON CORP on STN  
AB EP 763533 A UPAB: 19970512

The following processes are claimed: (A) prepn. of R-(+)- alpha -lipoic acid of formula R-(+)-(IV) by (a) reaction of (+)-8-chloro-6-hydroxyoctanoic acid of formula (+) (VI) with sulphonic acid chloride and a tertiary nitrogen base to give (+)-8-chloro-6-sulphonyloxyoctanoic acid of formula (I), followed by reaction with alkali metal disulphide/sulphur or thiourea to give (+)-(IV) or (-)-dihydrolipoic acid of formula (-) (V), and (V) is oxidised to give (IV); (b) (-)-(VI) is reacted with thionyl chloride in the presence of pyridine to give (+)-6,8-dichloro-octanoic acid of formula (VII), which is reacted with alkali metal disulphide/sulphur to give (+)-(IV); or (c) (+)-(VI) is esterified to a compound of formula (VIII), and the ester is treated as in (a) or (b): (B) the prepn. of the corresp. S (-)- alpha -lipoic acid of formula (-)-(IV), from the corresp. (-)-(VI) cpd. as in (a) or (c), or (+) (VI) cpd., as in (b) or (c).

The cpds. (+)- and (-)-8-chloro-6-sulphonyloxyoctanoic acids (I) and esters (II), and (+)- and (-)-6,8-dichlorooctanoic acid alkyl esters (VII) are new. R' = 1-4C alkyl or 6-8C aryl; R = 1-4C alkyl.

USE - (IV) isomers are cpds. with different pharmaceutical activity. (R)- alpha -Lipoic acid is antiinflammatory and (S)- alpha -Lipoic acid is analgesic.

ADVANTAGE - The process carries out racemic splitting as early in the process as possible, and later steps are carried out without racemisation and in very high yield..

Dwg.0/0

BEST AVAILABLE COPY

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 33 881 A 1

⑳ Aktenzeichen: 195 33 881.2  
㉑ Anmeldetag: 13. 9. 95  
㉒ Offenlegungstag: 20. 3. 97

⑤ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
C 07 C 309/66  
C 07 C 303/28  
C 07 C 303/44  
C 07 C 53/19  
C 07 C 51/383  
C 07 C 69/63  
C 07 C 67/08  
C 07 C 89/675  
C 07 C 323/52  
C 07 C 319/08  
C 07 C 319/02  
C 07 D 339/04  
// C 07 C 51/43, C 07 M  
7:00

DE 195 33 881 A 1

㉗ Anmelder:

Arzneimittelwerk Dresden GmbH, 01445 Radebeul,  
DE

㉘ Erfinder:

Gewald, Rainer, Dr., 01217 Dresden, DE;  
Beißwanger, Thomas, Dr., 01445 Radebeul, DE;  
Laban, Gunter, Dr., 01465 Langebrück, DE

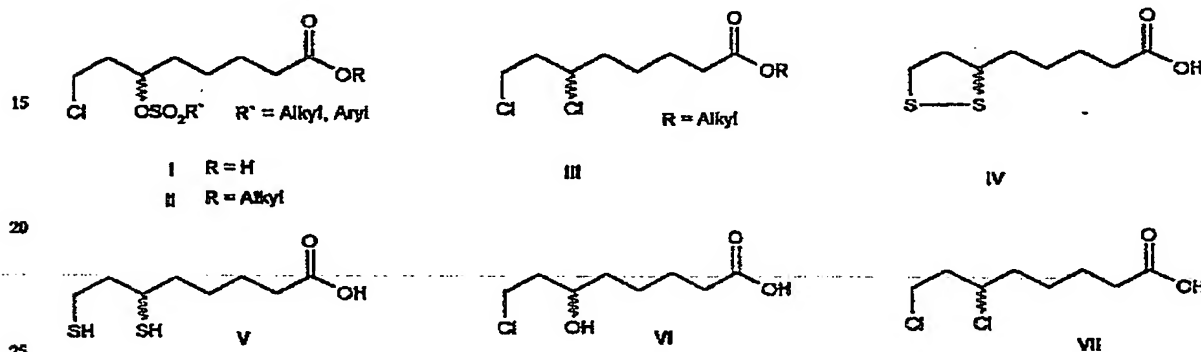
- ⑤4 Herstellung und Verwendung der reinen Enantiomere der 8-Chlor-8-sulfonyloxy-octansäuren und ihrer Alkylester und der reinen Enantiomere der 8,8-Dichlor-octansäure und ihrer Alkylester
- ⑤7 Die Herstellung der reinen Enantiomere der 8-Chlor-8-sulfonyloxy-octansäuren bzw. ihrer Alkylester und der reinen Enantiomere der 8,8-Dichlor-octansäure bzw. ihrer Alkylester als Zwischenprodukte bei der Synthese der Enantiomere der  $\alpha$ -Liponsäure sowie ein Verfahren zur Überführung beider Enantiomere der 8-Chlor-8-hydroxy-octansäure in ein Enantiomer der  $\alpha$ -Liponsäure werden beschrieben.

DE 195 33 881 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung der enantiomerenreinen  $\alpha$ -Liponsäuren der Formel IV sowie der enantiomerenreinen Dihydroliponsäuren der Formel V aus den reinen Enantiomeren der 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel VI. Weiterhin betrifft die Erfindung neue (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxyoctansäuren der Formel I und deren enantiomerenreine Ester der Formel II sowie neue (+)- und (-)-6,8-Dichlor-octansäureester der Formel III sowie Verfahren zu deren Herstellung und zur Herstellung der enantiomerenreinen  $\alpha$ -Liponsäuren der Formel IV sowie der enantiomerenreinen Dihydroliponsäuren der Formel V.  $\alpha$ -Liponsäure ist 1,2-Dithiolan-3-pentansäure (Thioctsäure).

10



20

25

Das R-Enantiomer der  $\alpha$ -Liponsäure ist ein Naturstoff, der in geringen Konzentrationen in praktisch allen tierischen und pflanzlichen Zellen vorkommt. Als Coenzym bei der oxidativen Decarboxylierung von  $\alpha$ -Ketocarbonsäuren (z. B. Brenztraubensäure) ist  $\alpha$ -Liponsäure von essentieller Bedeutung.  $\alpha$ -Liponsäure ist pharmakologisch wirksam und weist antiphlogistische und antinociceptive (analgetische) sowie zytoprotektive Eigenschaften auf. Eine wichtige medizinische Indikation ist die Behandlung der diabetischen Polyneuropathie. Nach neueren Ergebnissen (vgl. CA 116: 207360) kann  $\alpha$ -Liponsäure möglicherweise Bedeutung bei der Bekämpfung durch HIV-1- und HTLV IIIB-Viren bedingter Krankheiten erlangen.

30

35

Bei den reinen optischen Isomeren der  $\alpha$ -Liponsäure (R- und S-Form, d. h. R- $\alpha$ -Liponsäure und S- $\alpha$ -Liponsäure) ist im Gegensatz zu dem Razemat das R-Enantiomer vorwiegend antiphlogistisch und das S-Enantiomer vorwiegend antinociceptiv wirksam (EP 0427247, 08.11.90). Daher ist die Synthese der reinen Enantiomere, insbesondere der R-Form, von großer Wichtigkeit.

40

Bekannte Herstellungsverfahren der enantiomerenreinen  $\alpha$ -Liponsäure umfassen die Razematspaltung der  $\alpha$ -Liponsäure oder ihrer Vorstufen, asymmetrische Synthesen unter Einsatz chiraler Auxiliaren, "chiral pool"-Synthesen unter Verwendung von in der Natur vorkommenden optisch aktiven Ausgangsverbindungen sowie mikrobielle Synthesen (Übersichtsartikel: J. S. Yadav et al, J. Sci. Ind. Res. 1990, 49, 400; sowie: A.G. Tolstikov et al, Bioorg. Khim. 1990, 16, 1670; L. Dasaradhi et al, J. Chem. Soc., Chem. Commun. 1990, 729; A.S. Gopalan et al, J. Chem. Perkin Trans. 1 1990, 1897; A.S. Gopalan et al, Tetrahedron Lett. 1989, 5705; EP 0487986A2, 14.11.91).

45

50

Davon stellt die Razematspaltung über die Bildung von diastereomeren Salzen der  $\alpha$ -Liponsäure mit optisch aktivem  $\alpha$ -Methylbenzylamin (DE-OS 41 37 773.7, 16.11.91) die bisher wirtschaftlichste Variante dar. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht jedoch darin, daß die Razemattrennung erst auf der letzten Stufe der Synthesesequenz erfolgt und das unerwünschte Enantiomer der  $\alpha$ -Liponsäure weder razemisiert noch invertiert werden kann. Auch bei den anderen bekannten Razematspaltungsverfahren auf Vorstufen der  $\alpha$ -Liponsäure kann jeweils nur ein Enantiomer in das gewünschte optische Isomer der  $\alpha$ -Liponsäure überführt und somit nur eine theoretische Ausbeute von 50% erreicht werden (E. Walton et al, J. Am. Chem. Soc. 1955, 77, 5144; D.S. Acker und W.J. Wayne, J. Am. Chem. Soc. 1957, 79, 6483; L.G. Chebotareva und A.M. Yurkevich, Khim.-Farm. Zh. 1980, 14, 92).

55

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zur Herstellung der enantiomerenreinen  $\alpha$ -Liponsäuren und Dihydroliponsäuren zu schaffen, bei dem die Razematspaltung auf der frühestmöglichen Stufe der Synthesesequenz durchgeführt wird, wobei die Umwandlung beider anfallender Enantiomere der 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure in ein Enantiomer der  $\alpha$ -Liponsäure mit einer theoretischen Ausbeute von 100% ohne zusätzliche Razemisierungs- oder Inversionschritte möglich ist.

60

In den folgenden beiden Übersichten ist der Weg zur Herstellung der R(+)- und S(-)- $\alpha$ -Liponsäure schematisch dargestellt, wobei R vorzugsweise eine geradkettige oder verzweigte  $C_1$ - $C_4$ -Alkylgruppe, d. h. eine Methyl-, Ethyl-, n-Propyl-, iso-Propyl-, n-Butyl-, iso-Butyl- oder tert-Butylgruppe, insbesondere eine Methylgruppe, bedeutet und R' vorzugsweise eine Methyl- oder p-Tolylgruppe bedeutet.

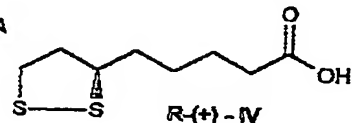
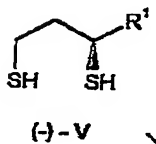
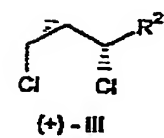
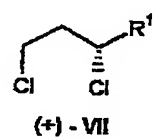
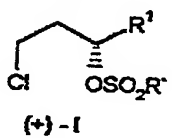
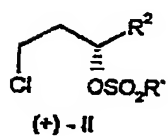
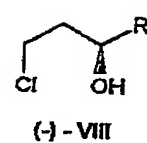
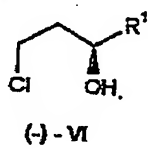
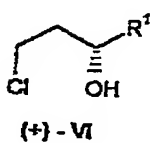
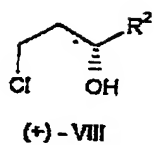
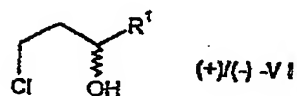
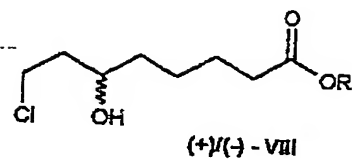
65

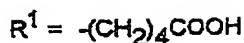
$R^1 = -(CH_2)_4COOH$

$R^2 = -(CH_2)_4COOR$

$R = \text{Alkyl}$

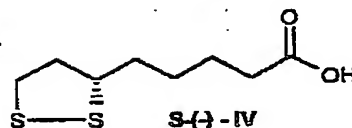
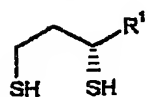
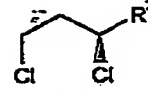
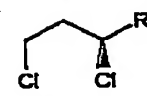
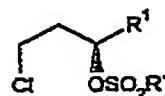
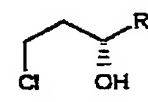
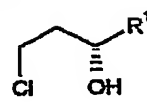
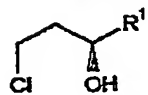
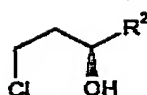
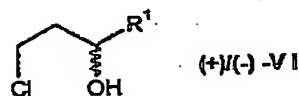
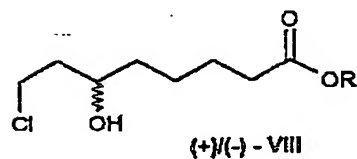
$R' = \text{Alkyl, Aryl}$





R = Alkyl

R' = Alkyl, Aryl



Das Ausgangsmaterial des Verfahrens, die racemische 8-Chlor-6-hydroxyoctansäure der Formel VI, wird auf bekanntem Wege durch Hydrolyse ihrer racemischen Alkylester der Formel VIII gewonnen (Y. Deguchi und K. Nakanishi, Yakugaku Zasshi 1963, 83, 701).

Die reine (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure oder die reine (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure können durch Umsetzung der racemischen 8-Chlor-6-hydroxyoctansäure mit den optischen Antipoden des  $\alpha$ -Methylbenzylamins, Bildung der diastereomeren Salze und Isolierung des schwerer löslichen Salzes mit anschließender Spaltung der reinen diastereomeren Salze aus (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure und R-(+)- $\alpha$ -Methylbenzylamin beziehungsweise (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure und S-(-)- $\alpha$ -Methylbenzylamin unter Zusatz von Säure

ren, z. B. Mineralsäuren, oder Basen, z. B. Alkalihydroxyden, gewonnen werden.

Beide Enantiomere der 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel VI können erfindungsgemäß direkt in R- $\alpha$ -Liponsäure der Formel (+)-IV überführt werden, indem man die (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure bzw. deren Alkylester unter Erhalt der Konfiguration mit einem Sulfonsäurechlorid umsetzt und die (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure bzw. deren Alkylester unter Umkehr der Konfiguration chloriert. Die darauffolgende Schwefeleinführung führt letztendlich von allen Zwischenprodukten aus zur R- $\alpha$ -Liponsäure in vorzüglicher optischer Reinheit (e.e. > 99%, chirale HPLC).

Die Enantiomere der 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel VI lassen sich stereospezifisch unter Erhalt der Konfiguration in Gegenwart von katalytischen Mengen HCl in ihre Alkylester der Formel VIII, vorzugsweise Methylester, umwandeln.

Die enantiomerenreinen (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäurealkylester der Formel (+)-VIII werden dann unter Erhalt der Konfiguration in die (+)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäurealkylester der Formel (+)-II und diese in (-)-Dihydroliponsäure der Formel (-)-I oder R- $\alpha$ -Liponsäure der Formel (+)-IV überführt.

Man kann jedoch von der (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (+)-VI auch direkt über die (+)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäure der Formel (+)-I in guten Ausbeuten stereospezifisch zur (-)-Dihydroliponsäure der Formel (-)-V oder R- $\alpha$ -Liponsäure der Formel (+)-IV gelangen. Die Umsetzung mit dem Sulfonsäurechlorid wird dann unter Einsatz von 1,5 bis 3, vorzugsweise jedoch 2,0 bis 2,2 Moläquivalenten an Sulfonsäurechlorid und 1,5 bis 2,5, vorzugsweise jedoch 2,0 bis 2,1 Moläquivalenten an tertiärer Stickstoffbase, bevorzugt Triethylamin, durchgeführt.

Die Umwandlung der enantiomerenreinen Dihydroliponsäuren der Formel V in die optischen Isomere der  $\alpha$ -Liponsäure der Formel IV durch Oxydation mit Luft in Gegenwart katalytischer Mengen von Eisen(III)-Salzen ist aus der Literatur bekannt (E. Walton et al.: J. Am. Chem. Soc. 1955, 77, 5144).

Die enantiomerenreinen (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäurealkylester der Formel (-)-VIII werden unter Konfigurationsumkehr durch Umsetzung mit Thionylchlorid in Gegenwart katalytischer Mengen Pyridin in die (+)-6,8-Dichloroctansäurealkylester der Formel (+)-VII überführt. Die darauffolgende Schwefeleinführung mit  $\text{Na}_2\text{S}_2$  ergab R- $\alpha$ -Liponsäure der Formel (+)-IV in hoher Enantiomerenreinheit.

Vorteilhafterweise kann auch die (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (-)-VI direkt in guten Ausbeuten in die (+)-6,8-Dichlor-octansäure der Formel (+)-VII umgewandelt werden, indem im Chlorierungsschritt 1,5 bis 5, vorzugsweise jedoch 2,0 bis 2,5 Moläquivalente Thionylchlorid eingesetzt werden und das Reaktionsgemisch in einem Eintopfverfahren durch Zugabe von wäßrigen Basen, vorzugsweise Natronlauge, hydrolytisch aufgearbeitet wird. Die weitere Umsetzung der (+)-6,8-Dichlor-octansäure mit  $\text{Na}_2\text{S}_2$  zur R- $\alpha$ -Liponsäure der Formel (+)-IV ist aus der Literatur bekannt (D.S. Acker und W.J. Wayne, J. Am. Chem. Soc. 1957, 79, 6483).

Durch Umsetzung der (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (-)-VI bzw. deren Alkylester der Formel (-)-VIII mit Sulfonsäurechloriden und Chlorierung der (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (+)-VI bzw. deren Alkylester der Formel (+)-VIII läßt sich erfindungsgemäß analog dem oben beschriebenen Verfahren S- $\alpha$ -Liponsäure der Formel S(-)-IV erhalten.

Zur Herstellung der enantiomerenreinen (+)- bzw. (-)-Dihydroliponsäure kann man auch S(-)- $\alpha$ -Liponsäure bzw. R(+)- $\alpha$ -Liponsäure in an sich bekannter Weise reduzieren.

Alle obengenannten Umsetzungen werden bevorzugt in einem geeigneten organischen Lösemittel durchgeführt. Beispiele für organische Lösemittel sind aliphatische Kohlenwasserstoffe mit einer Kohlenstoffkettenlänge zwischen 3 und 10 Kohlenstoffatomen, aromatische Kohlenwasserstoffe, die flüssig sind, Ester aus aliphatischen oder cycloaliphatischen Carbonsäuren mit 2 bis 6 Kohlenstoffatomen und aliphatischen oder cycloaliphatischen Alkoholen mit 2 bis 6 Kohlenstoffatomen, aliphatischen oder cycloaliphatischen Alkoholen mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, Ether und Glycolether oder homogene Gemische der genannten Lösungsmittel. Besonders bevorzugte Lösemittel sind Essigsäureethylester, Cyclohexan, Toluol, Ethanol und deren homogene Gemische.

Die Reinheit der optischen Isomere und der diastereomeren Salze wurde mittels der spezifischen optischen Drehwerte bestimmt. Weiterhin wurden die relativen Gehalte der optischen Isomere der 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel VI und der  $\alpha$ -Liponsäure der Formel IV durch HPLC an optisch aktiven Säulen mit einer Nachweisgrenze von 0,5% ermittelt. Zusätzlich erfolgte die Bestimmung der optischen Reinheit der 8-Chlor-6-hydroxy-octansäurealkylester der Formel VIII durch  $^1\text{H-NMR}$ -Analyse der Ester, die bei der Reaktion mit (S)-(+)-O-Acetylmandelsäure gebildet werden.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, die Enantiomere der  $\alpha$ -Liponsäure auf einfache und wirtschaftliche Weise in hoher chemischer und optischer Ausbeute zugänglich zu machen.

Sie wird durch nachfolgende Beispiele näher erläutert.

#### Beispiel 1

39,9 g (204 mmol) racemische 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (+)/(-)-VI wurden bei 40°C in 155 ml eines Gemisches aus Ethylacetat und Cyclohexan (1 : 1) aufgelöst. Innerhalb von 10 min wurden 13,5 g (112 mmol) R-(+)- $\alpha$ -Methylbenzylamin zudosiert. Anschließend wurde über einen Zeitraum von 2 h auf 20°C abgekühlt, filtriert und der Niederschlag mit 20 ml Lösungsmittelgemisch Ethylacetat/Cyclohexan (1 : 1) und 30 ml Cyclohexan nachgewaschen. Das Salz wurde zweimal aus 400 ml Ethylacetat/Cyclohexan (3 : 1) umkristallisiert und im Vakuum bei 40°C getrocknet. Man erhielt 20,5 g (+)(+)-Diastereomerensalz,  $\alpha = +22,7^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol).

Das Salz wurde bei 20°C in 220 ml Diethylether suspendiert. Unter Eiskühlung und Rühren wurde mit 3 N Salzsäure langsam auf einen pH-Wert von 1 eingestellt, wobei das Salz in Lösung geht. Nach weiteren 30 min wurden die Phasen getrennt und die organische Phase einmal mit 20 ml 2 N HCl und zweimal mit 20 ml Wasser gewaschen und über Magnesiumsulfat getrocknet. Nach Abziehen des Lösemittels im Vakuum wurden 10,8 g

(54% d. Th.) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (+)-VI erhalten;  $[\alpha]_D^{20} = +24,5^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol), e.e.: >99% (HPLC), Schmelzpunkt 29–30°C.

## Beispiel 2

33,9 g (173 mmol) racemische 8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (+)/(-)-VI wurden bei 40°C in 130 ml eines Gemisches aus Ethylacetat und Cyclohexan (1 : 1) aufgelöst. Innerhalb von 10 min wurden 11,5 g (95 mmol) S-(-)- $\alpha$ -Methylbenzylamin zudosiert. Anschließend wurde über einen Zeitraum von 2 h auf 20°C abgekühlt, filtriert und der Niederschlag mit 17 ml Lösungsmittelgemisch Ethylacetat/Cyclohexan (1 : 1) und 25 ml Cyclohexan nachgewaschen. Das Salz wurde zweimal aus 340 ml Ethylacetat/Cyclohexan (3 : 1) umkristallisiert und im Vakuum bei 40°C getrocknet. Man erhielt 17,2 g (-)-Diastereomerensalz,  $\alpha = -22,7^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol).

Das Salz wurde bei 20°C in 190 ml Diethylether suspendiert. Unter Eiskühlung und Rühren wurde mit 3 N Salzsäure langsam auf einen pH-Wert von 1 eingestellt, wobei das Salz in Lösung geht. Nach weiteren 30 min wurden die Phasen getrennt und die organische Phase einmal mit 17 ml 2 N HCl und zweimal mit 20 ml Wasser gewaschen und über Magnesiumsulfat getrocknet. Nach Abziehen des Lösemittels im Vakuum wurden 9,1 g (53% d. Th.) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (-)-VI erhalten;  $[\alpha]_D^{20} = -24,5^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol), e.e.: >99% (HPLC), Schmelzpunkt 29–30°C.

## Beispiel 3

6,4 g (32,9 mmol) (+)-8-Chlor-6-hydroxyoctansäure (+)-VI wurden in 100 ml absolutem Methanol nach Zugabe von 0,4 ml konzentrierter Salzsäure 2 h am Rückfluß erhitzt. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 6,6 g (97% d. Th.) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäuremethylester (+)-VIII (R=Me),  $[\alpha]_D^{20} = +24,5^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol), e.e.: >99% ( $^1\text{H NMR}$ ).

## Beispiel 4

7,7 g (39,5 mmol) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (-)-VI wurden in 120 ml absolutem Methanol nach Zugabe von 0,5 ml konzentrierter Salzsäure 2 h am Rückfluß erhitzt. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 7,9 g (97% d. Th.) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäuremethylester (-)-VIII (R=Me),  $[\alpha]_D^{20} = -24,5^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol), e.e.: >99% ( $^1\text{H NMR}$ ).

## Beispiel 5

3,9 g (20 mmol) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (+)-VI und 4,1 g (40 mmol) Triethylamin wurden in 80 ml Toluol gemischt. Dazu wurden unter Kühlung (Innentemperatur 10–15°C) langsam 3,5 g (30,6 mmol) Methansulfonsäurechlorid gegeben. Es wurde 30 min nachgerührt. Nach Zusatz von 25 ml Wasser wurde nochmals 30 min gerührt, danach die organische Phase abgetrennt und über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 3,8 g (69% d. Th.) (+)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäure (+)-I (R'=Me),  $[\alpha]_D^{20} = +32,9^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol).

## Beispiel 6

6,6 g (34 mmol) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (-)-VI und 7,0 g (68 mmol) Triethylamin wurden in 140 ml Toluol gemischt. Dazu wurden unter Kühlung (Innentemperatur 10–15°C) langsam 6,0 g (52,6 mmol) Methansulfonsäurechlorid gegeben. Es wurde 30 min nachgerührt. Nach Zusatz von 40 ml Wasser wurde nochmals 30 min gerührt, danach die organische Phase abgetrennt und über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 6,5 g (70% d. Th.) (-)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäure (-)-I (R'=Me),  $[\alpha]_D^{20} = -32,8^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol).

## Beispiel 7

4,0 g (19,2 mmol) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäuremethylester (+)-VIII (R=Me) und 1,97 g (19,2 mmol) Triethylamin wurden in 90 ml Toluol gemischt. Dazu wurden unter Kühlung (Innentemperatur 105°C) langsam 2,63 g (23,0 mmol) Methansulfonsäurechlorid gegeben. Es wurde 30 min nachgerührt. Nach Zusatz von 30 ml Wasser wurde nochmals 30 min gerührt, danach die organische Phase abgetrennt und über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 4,8 g (88% d. Th.) (+)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäuremethylester (+)-II (R=R'=Me),  $[\alpha]_D^{20} = +31,2^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol).

## Beispiel 8

2,1 g (10 mmol) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäuremethylester (-)-VIII (R=Me) und 1,0 g (10 mmol) Triethylamin wurden in 40 ml Toluol gemischt. Dazu wurden unter Kühlung (Innentemperatur 10–15°C) langsam 1,4 g (12 mmol) Methansulfonsäurechlorid gegeben. Es wurde 30 min nachgerührt. Nach Zusatz von 25 ml Wasser wurde nochmals 30 min gerührt, danach die organische Phase abgetrennt und über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 2,5 g (86% d. Th.) (-)-8-Chlor-6-methansulfonyloxyoctansäuremethylester (-)-II (R=R'=Me),  $[\alpha]_D^{20} = -31,3^\circ$  ( $c = 1$ ; Ethanol).

## Beispiel 9

Zu einer Lösung aus 2,4 g (11,0 mmol) (+)-8-Chlor-6-hydroxyoctansäuremethylester (+)-VIII (R=Me) und 0,04 g (0,5 mmol) Pyridin in 8 ml Toluol wurden langsam 1,6 g (13,5 mmol) Thionylchlorid in 5 ml Toluol gegeben. Dann wurde 1 h am Rückfluß erhitzt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur wurde das Reaktionsgemisch in 20 ml Eiswasser gegeben, die organische Phase abgetrennt, mit 10 ml Wasser gewaschen und über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 2,0 g (81% d. Th.) (-)-6,8-Dichloroctansäuremethylester (-)-III (R=Me),  $[\alpha]_D^{25} = -30,0^\circ$  (c = 1; Benzol).

## Beispiel 10

Zu einer Lösung aus 2,9 g (13,2 mmol) (-)-8-Chlor-6-hydroxyoctansäuremethylester (-)-VIII (R=Me) und 0,05 g (0,6 mmol) Pyridin in 10 ml Toluol wurden langsam 1,9 g (16,2 mmol) Thionylchlorid in 6 ml Toluol gegeben. Dann wurde 1 h am Rückfluß erhitzt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur wurde das Reaktionsgemisch in 25 ml Eiswasser gegeben, die organische Phase abgetrennt, mit 10 ml Wasser gewaschen und über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 2,4 g (81% d. Th.) (+)-6,8-Dichlor-octansäuremethylester (+)-III (R=Me),  $[\alpha]_D^{25} = +30,1^\circ$  (c = 1; Benzol).

## Beispiel 11

Zu einer Lösung aus 2,4 g (12,3 mmol) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (+)-VI und 0,05 g (0,6 mmol) Pyridin in 30 ml Toluol wurden langsam 3,3 g (27,7 mmol) Thionylchlorid gegeben. Dann wurde 1 h am Rückfluß erhitzt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur wurde das Reaktionsgemisch in 50 ml Eiswasser gegeben, die organische Phase abgetrennt, mit 20 ml Wasser gewaschen und 4 h mit 30 ml 2 N NaOH gerührt. Die wäßrige Phase wurde dann abgetrennt, mit 3 N HCl auf pH=1 eingestellt und mit zweimal 20 ml Diethylether extrahiert. Die vereinigten etherischen Extrakte wurden über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 2,1 g (80% d. Th.) (-)-6,8-Dichlor-octansäure (-)-VII,  $[\alpha]_D^{25} = -30,6^\circ$  (c = 1; Benzol).

## Beispiel 12

Zu einer Lösung aus 3,0 g (15,4 mmol) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure (-)-VI und 0,06 g (0,8 mmol) Pyridin in 40 ml Toluol wurden langsam 4,1 g (34,4 mmol) Thionylchlorid gegeben. Dann wurde 1 h am Rückfluß erhitzt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur wurde das Reaktionsgemisch in 60 ml Eiswasser gegeben, die organische Phase abgetrennt, mit 20 ml Wasser gewaschen und 4 h mit 35 ml 2 N NaOH gerührt. Die wäßrige Phase wurde dann abgetrennt, mit 3 N HCl auf pH=1 eingestellt und mit zweimal 20 ml Diethylether extrahiert. Die vereinigten etherischen Extrakte wurden über Magnesiumsulfat getrocknet. Danach wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 2,6 g (80% d. Th.) (+)-6,8-Dichlor-octansäure (+)-VII,  $[\alpha]_D^{25} = +30,5^\circ$  (c = 1; Benzol).

## Beispiel 13

Ein Gemisch aus 4,6 g (19 mmol) Natriumsulfid-Nonahydrat und 0,61 g (19 mmol) Schwefel wurde in 40 ml Ethanol 15 min unter Rückfluß erhitzt. Dazu wurde über einen Zeitraum von 2 h bei 20°C eine Lösung aus 4,9 g (17 mmol) (+)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäuremethylester (+)-II (R=R' = Me) und 5 ml Ethanol gegeben und 3 h nachgerührt. Dann wurden 24 ml 10%ige NaOH zugegeben und 2 h bei 25°C gerührt. Nach Abziehen des Ethanols im Vakuum wurde bei 25°C eine Lösung aus 0,37 g (9,7 mmol) Natriumborhydrid in 10 ml 1%iger NaOH innerhalb 10 min zum Reaktionsgemisch gegeben und unter Rühren langsam auf 100°C erwärmt und 1 h bei dieser Temperatur gerührt. Nach Abkühlen wurde das Reaktionsgemisch mit konz. HCl auf pH 1 angesäuert und zweimal mit 20 ml Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen wurden über Natriumsulfat getrocknet und das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 2,8 g (79% d. Th.) (-)-Dihydroliponsäure (-)-V,  $[\alpha]_D^{25} = -13,7^\circ$  (c = 1,5; Ethanol).

## Beispiel 14

Ein Gemisch aus 3,1 g (13 mmol) Natriumsulfid-Nonahydrat und 0,41 g (13 mmol) Schwefel wurde in 25 ml Ethanol 15 min unter Rückfluß erhitzt. Dazu wurde über einen Zeitraum von 2 h bei 20°C eine Lösung aus 3,3 g (11 mmol) (-)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäuremethylester (-)-II (R=R' = Me) und 5 ml Ethanol gegeben und 3 h nachgerührt. Dann wurden 15 ml 10%ige NaOH zugegeben und 2 h bei 25°C gerührt. Nach Abziehen des Ethanols im Vakuum wurde bei 25°C eine Lösung aus 0,25 g (6,6 mmol) Natriumborhydrid in 10 ml 1%iger NaOH innerhalb 10 min zum Reaktionsgemisch gegeben und unter Rühren langsam auf 100°C erwärmt und 1 h bei dieser Temperatur gerührt. Nach Abkühlen wurde das Reaktionsgemisch mit konz. HCl auf pH 1 angesäuert und zweimal mit 15 ml Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen wurden über Natriumsulfat getrocknet und das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 1,9 g (83% d. Th.) (+)-Dihydroliponsäure (+)-V,  $[\alpha]_D^{25} = +13,7^\circ$  (c = 1,5; Ethanol).



## Beispiel 15

Ein Gemisch aus 1,5 g (6,3 mmol) Natriumsulfid-Nonahydrat und 0,2 g (6,3 mmol) Schwefel wurde in 15 ml Ethanol 15 min unter Rückfluß erhitzt. Dazu wurde über einen Zeitraum von 2 h bei 20°C eine Lösung aus 1,5 g (5,5 mmol) (+)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäure (+)-I und 4 ml Ethanol gegeben und 3 h nachgeführt. Dann wurden 15 ml 10%ige NaOH zugegeben und 2 h bei 25°C gerührt. Nach Abziehen des Ethanols im Vakuum wurde bei 25°C eine Lösung aus 0,12 g (3,2 mmol) Natriumborhydrid in 4 ml 1%iger NaOH innerhalb 10 min zum Reaktionsgemisch gegeben und unter Rühren langsam auf 100°C erwärmt und 1 h bei dieser Temperatur gerührt. Nach Abkühlen wurde das Reaktionsgemisch mit konz. HCl auf pH 1 angesäuert und zweimal mit 10 ml Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen wurden über Natriumsulfat getrocknet und das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 0,8 g (70% d. Th.) (-)-Dihydroliponsäure (-)-V,  $[\alpha]_D^{25} = -13,5^\circ$  ( $c = 1,0$ ; Ethanol).

## Beispiel 16

Ein Gemisch aus 1,8 g (7,6 mmol) Natriumsulfid-Nonahydrat und 0,24 g (7,6 mmol) Schwefel wurde in 18 ml Ethanol 15 min unter Rückfluß erhitzt. Dazu wurde über einen Zeitraum von 2 h bei 20°C eine Lösung aus 1,8 g (6,6 mmol) (-)-8-Chlor-6-methansulfonyloxy-octansäure (-)-I und 5 ml Ethanol gegeben und 3 h nachgeführt. Dann wurden 18 ml 10%ige NaOH zugegeben und 2 h bei 25°C gerührt. Nach Abziehen des Ethanols im Vakuum wurde bei 25°C eine Lösung aus 0,14 g (3,8 mmol) Natriumborhydrid in 5 ml 1%iger NaOH innerhalb 10 min zum Reaktionsgemisch gegeben und unter Rühren langsam auf 100°C erwärmt und 1 h bei dieser Temperatur gerührt. Nach Abkühlen wurde das Reaktionsgemisch mit konz. HCl auf pH 1 angesäuert und zweimal mit 10 ml Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen wurden über Natriumsulfat getrocknet und das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Man erhielt 1,0 g (73% d. Th.) (+)-Dihydroliponsäure (+)-V,  $[\alpha]_D^{25} = -13,6^\circ$  ( $c = 1,0$ ; Ethanol).

## Beispiel 17

Ein Gemisch aus 0,62 g (2,6 mmol) Natriumsulfid-Nonahydrat und 0,08 g (2,6 mmol) Schwefel wurde in 10 ml Ethanol 15 min unter Rückfluß erhitzt. Dazu wurde über einen Zeitraum von 1 h unter schwachem Rückfluß eine Lösung aus 0,55 g (2,4 mmol) (+)-6,8-Dichlor-octansäuremethylester (+)-III ( $R = Me$ ) und 5 ml Ethanol gegeben. Es wurde 15 min nachgeführt und 8 ml Ethanol abdestilliert. Dann wurden 10 ml 0,5 N NaOH zugegeben und 12 h bei 25°C gerührt. Nach Ansäuern des Reaktionsgemisches mit konz. HCl auf pH 1 wurde zweimal mit 20 ml Diethylether extrahiert, die organischen Phasen über Natriumsulfat getrocknet und das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Durch Umkristallisation aus Cyclohexan erhielt man 0,28 g (57% d. Th.) R-(+)- $\alpha$ -Liponsäure (+)-IV, Schmelzpunkt 44–46°C, e.e.: > 99% (HPLC).

## Beispiel 18

Ein Gemisch aus 0,87 g (3,6 mmol) Natriumsulfid-Nonahydrat und 0,11 g (3,6 mmol) Schwefel wurde in 15 ml Ethanol 15 min unter Rückfluß erhitzt. Dazu wurde über einen Zeitraum von 1 h unter schwachem Rückfluß eine Lösung aus 0,77 g (3,4 mmol) (-)-6,8-Dichlor-octansäuremethylester (-)-III ( $R = Me$ ) und 7 ml Ethanol gegeben. Es wurde 15 min nachgeführt und 12 ml Ethanol abdestilliert. Dann wurden 14 ml 0,5 N NaOH zugegeben und 12 h bei 25°C gerührt. Nach Ansäuern des Reaktionsgemisches mit konz. HCl auf pH 1 wurde zweimal mit 20 ml Diethylether extrahiert, die organischen Phasen über Natriumsulfat getrocknet und das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Durch Umkristallisation aus Cyclohexan erhielt man 0,38 g (54% d. Th.) S-(-)- $\alpha$ -Liponsäure (-)-IV, Schmelzpunkt 44–46°C, e.e.: > 99% (HPLC).

## Patentansprüche

1. (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäuren der Formel I, in der R' geradkettige und verzweigte  $C_1-C_4$ -Alkyl- und  $C_6-C_8$ -Arylgruppen bezeichnet.
2. (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäurealkylester der Formel II, in der R geradkettige und verzweigte  $C_1-C_4$ -Alkylgruppen und R' geradkettige und verzweigte  $C_1-C_4$ -Alkyl- und  $C_6-C_8$ -Arylgruppen bezeichnen.
3. (+)- und (-)-6,8-Dichlor-octansäurealkylester der Formel VII, in der R geradkettige und verzweigte  $C_1-C_4$ -Alkylgruppen bezeichnet.
4. Verfahren zur Herstellung von (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäuren der Formel I, dadurch gekennzeichnet, daß man (+)- und (-)-8-Chlor-6-hydroxyoctansäure der Formel VI mit 1,5 bis 3 Moläquivalenten Sulfonsäurechlorid und 1,5 bis 2,5 Moläquivalenten tertiärer Stickstoffbase bei 0–30°C in einem organischen Lösemittel umsetzt.
5. Verfahren zur Herstellung von (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäurealkylestern der Formel II, dadurch gekennzeichnet, daß man (+)- und (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäurealkylester der Formel VIII mit 1,0 bis 1,5 Moläquivalenten Sulfonsäurechlorid und 1,0 bis 1,5 Moläquivalenten tertiärer Stickstoffbase bei 0–30°C in einem organischen Lösemittel umsetzt.
6. Verfahren zur Herstellung von (+)- und (-)-6,8-Dichlor-octansäurealkylestern der Formel VII, dadurch gekennzeichnet, daß man (+)- und (-)-8-Chlor-6-hydroxyoctansäurealkylester der Formel VII mit 1,0 bis 2,0 Moläquivalenten Thionylchlorid in Gegenwart katalytischer Mengen Pyridin bei 60–130°C in einem

organischen Lösemittel umsetzt.

7. Verfahren zur Herstellung von (+)- und (-)-6,8-Dichlor-octansäuren der Formel VII, dadurch gekennzeichnet, daß man (+)- und (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäuren der Formel VI mit 1,5 bis 5,0 Moläquivalenten Thionylchlorid in Gegenwart katalytischer Mengen Pyridin bei 60—130° C in einem organischen Lösemittel umsetzt.

8. Verfahren zur Herstellung von R-(+)- $\alpha$ -Liponsäure der Formel R-(+)-IV, dadurch gekennzeichnet, daß man

a) aus (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (+)-VI mit Sulfonsäurechloriden und einer tertiären Stickstoffbase (+)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäure der Formel (+)-I herstellt, diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel oder Thioharnstoff zur R-(+)- $\alpha$ -Liponsäure (+)-IV oder (-)-Dihydroliponsäure (-)-V, welche anschließend durch Oxydation in die Verbindung der Formel (+)-IV überführt wird, umsetzt und

b) aus (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (-)-VI mit Thionylchlorid in Gegenwart von Pyridin (+)-6,8-Dichlor-octansäure der Formel (+)-VII herstellt und diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel in die Verbindung der Formel (+)-IV überführt.

9. Verfahren zur Herstellung von R-(+)- $\alpha$ -Liponsäure der Formel R-(+)-IV, dadurch gekennzeichnet, daß man

a) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (+)-VI zu Verbindungen der Formel (+)-VIII verestert und mit Sulfonsäurechloriden und einer tertiären Stickstoffbase (+)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäurealkylester der Formel (+)-II herstellt, diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel oder Thioharnstoff zur R-(+)- $\alpha$ -Liponsäure (+)-IV oder (-)-Dihydroliponsäure (-)-V, welche anschließend durch Oxydation in die Verbindung der Formel (+)-IV überführt wird, umsetzt und

b) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (-)-VI zu Verbindungen der Formel (-)-VIII verestert, mit Thionylchlorid in Gegenwart von Pyridin (+)-6,8-Dichlor-octansäurealkylester der Formel (+)-VII herstellt und diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel in die Verbindung der Formel (+)-IV überführt.

10. Verfahren zur Herstellung von S-(-)- $\alpha$ -Liponsäure entsprechend der Formel (-)-IV, dadurch gekennzeichnet, daß man

a) aus (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (-)-VI mit Sulfonsäurechloriden und einer tertiären Stickstoffbase (-)-8-Chlor-6-mesyloxy-octansäure der Formel (-)-I herstellt, diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel oder Thioharnstoff zur S-(-)- $\alpha$ -Liponsäure (-)-IV oder (+)-Dihydroliponsäure (+)-V, welche anschließend durch Oxydation in die Verbindung der Formel (-)-IV überführt wird, umsetzt und

b) aus (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (+)-VI mit Thionylchlorid in Gegenwart von Pyridin (-)-6,8-Dichlor-octansäure der Formel (-)-VII herstellt und diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel in die Verbindung der Formel (-)-IV überführt.

11. Verfahren zur Herstellung von S-(-)- $\alpha$ -Liponsäure entsprechend der Formel (-)-IV, dadurch gekennzeichnet, daß man

a) (-)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (-)-VI zu Verbindungen der Formel (-)-VIII verestert und mit Sulfonsäurechloriden und einer tertiären Stickstoffbase (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäurealkylester der Formel (-)-II herstellt, diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel oder Thioharnstoff zur S-(-)- $\alpha$ -Liponsäure (-)-IV oder (+)-Dihydroliponsäure (+)-V, welche anschließend durch Oxydation in die Verbindung der Formel (-)-IV überführt wird, umsetzt und

b) (+)-8-Chlor-6-hydroxy-octansäure der Formel (+)-VI zu Verbindungen der Formel (+)-VIII verestert, mit Thionylchlorid in Gegenwart von Pyridin (-)-6,8-Dichlor-octansäurealkylester der Formel (-)-VII herstellt und diese mit Alkalimetalldisulfid/Schwefel in die Verbindung der Formel (-)-IV überführt.

12. Verwendung von (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäuren der Formel I, in der R' geradkettige und verzweigte C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>-Alkyl- und C<sub>6</sub>—C<sub>8</sub>-Arylgruppen bezeichnet, als Zwischenprodukte zur Herstellung von enantiomerenreiner  $\alpha$ -Liponsäure.

13. Verwendung von (+)- und (-)-8-Chlor-6-sulfonyloxy-octansäurealkylester der Formel II, in der R geradkettige und verzweigte C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>-Alkylgruppen und R' geradkettige und verzweigte C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>-Alkyl- und C<sub>6</sub>—C<sub>8</sub>-Arylgruppen bezeichnen, als Zwischenprodukte zur Herstellung von enantiomerenreiner  $\alpha$ -Liponsäure.

14. Verwendung von (+)- und (-)-6,8-Dichlor-octansäurealkylestern der Formel VII, in der R geradkettige und verzweigte C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>-Alkylgruppen bezeichnet, als Zwischenprodukte zur Herstellung von enantiomerenreiner  $\alpha$ -Liponsäure.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**